

蓝光激光二极管平板显示背光模组设计

王志平, 曹银花, 刘友强*, 郭丽敏, 刘学胜, 成 健, 王智勇

北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124

摘要 研制了一款基于蓝光激光二极管的平板显示背光模组, 该模组主要包括导光模块以及导光板两部分。研究过程中采用导光模块与导光板分开设计优化的方案, 设计了传播过程中横向各部分规则分布、纵向各部分一致分布的一款导光模块以及出光分布均匀的导光板网点, 并采用激光打点方式制作出导光板样品。理论模拟得到整个模组的照度均匀度可以达到 89.02%, 边角平均值可以达到 102.74%。实验测量得到照度均匀度可达到 79.61%, 边角平均值可达到 100.10%。该背光模组结构简单, 可以为液晶显示提供背光明照。

关键词 几何光学; 平板显示背光模组; 激光背光模组; 区域分割法; 导光模块; 导光板

中图分类号 TN27

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201744.0505003

Design of Blue Laser Diode Flat-Panel Display Backlight Module

Wang Zhiping, Cao Yinhua, Liu Youqiang, Guo Limin, Liu Xuesheng,
Cheng Jian, Wang Zhiyong

College of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

Abstract A flat-panel display backlight module based on blue laser diode is designed, which is composed of light guide module and light guide plate (LGP). The scheme of keeping apart the light guide module and LGP is used in the process of designing optimization. A light guide module whose horizontal part distributes regularly, vertical part distributes unanimously in the transmission process and LGP network with uniform output light distribution are designed. The LGP sample is produced by adopting the method of laser dotting. Theoretical simulation shows that the intensity of illumination uniformity can reach 89.02%, and the average value of corner can reach 102.74%, for the whole module. And experiment measurement shows that the intensity of illumination uniformity can reach 79.61%, the average value of corner can reach 100.10%. The structure of this backlight module is simple, and it can offer back lighting for the liquid crystal display.

Key words geometric optics; flat-panel display backlight module; laser backlight module; region segmentation; light guide module; light guide plate

OCIS codes 080.1510; 220.2945; 350.4600; 080.2740

1 引 言

随着时代的发展, 激光显示技术由于具有诸多优势引起了人们的广泛兴趣^[1-5]。激光显示技术是一种全新的显示技术, 具有其他显示方式无法比拟的宽色域、高显色指数、高饱和度等优点, 可以呈现出更细腻、更艳丽、更丰富的画面, 展现出更饱和的色彩。现阶段以海信集团和光峰光电为代表的激光前投显示产品为主流方向, 但激光显示技术的发展不仅仅局限在投影显示方面, 将其应用于液晶平板显示同样是激光显示技术的一个重要发展方向。该技术方向充分地结合了激光显示的高色域、高饱和度^[6]和液晶平板显示薄型化的

收稿日期: 2016-12-12; **收到修改稿日期:** 2017-02-24

作者简介: 王志平(1989—), 男, 硕士研究生, 主要从事光学设计、蓝光激光二极管平板显示背光模组以及激光照明等方面的研究。E-mail: wangzhiping@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 曹银花(1964—), 女, 博士, 教授, 主要从事光学系统、光学设计和机械结构设计、复杂光学系统计算机辅助装配调技术等方面的研究。E-mail: caoyh@bjut.edu.cn

* **通信联系人.** E-mail: lyq7806022@163.com

优点,将会带来全新的视觉冲击,使激光显示技术进一步提升到商业化的角度。激光显示技术方向的关键在于激光平板显示背光模组的设计。这种背光模组的设计不同于寻常的发光二极管(LED)背光模组设计,设计过程中采用的是激光光源。激光光源是高斯型的点光源,不同于LED的面光源形式,如果不进行转换处理,则不能均匀地导入到导光板(LGP)内。可见,如何将激光光源的点发光形式转换成面光源,并均匀地导入到导光板内,将是激光平板显示背光源设计的重点。

2011年,日本三菱电机展示了采用激光背光的46 in(116.84 cm)液晶电视。该电视采用红色激光跟蓝绿LED的复合背光模组结构,与采用白光的液晶电视相比,其色彩范围提高了约1.3倍,色域覆盖率是国家电视标准委员会制式的126%^[7]。2012年,日本的Yuuto Okuda等^[8]研制了基于侧发光光纤的直下式激光背光模组,发现随着凹槽的加深漏光效率几乎呈线性增加趋势,而且250 μm 的塑料光纤(POF)较500 μm 的漏光效率高。2013年,山东大学孙玉宝^[7]提到了两种构建激光背光模组的方式。采用13点照度值测量,第一种测出红光均匀度17.1%、绿光均匀度16.7%、蓝光均匀度16.1%;第二种测出红光均匀度11.2%、绿光均匀度11.4%、蓝光均匀度9.2%。2014年,日本的Ichiro Fujieda等^[9]在原有的研究基础上研制了利用POF弯曲损失的直下式激光背光模组,该结构在弯曲半径9.5 mm时,损失率3.67%;弯曲半径8.5 mm时,损失率5.54%。

目前国内对于这种高色域、高饱和度的激光平板显示背光源研究较少,多在一些国外的相关资料中有所提及,而且大多都是模型方案等,并未对其进行系统的研究,现阶段还不成熟。可见,现阶段研究激光平板显示背光源的关键技术,不仅具有重要学术意义,而且具有极大的发展前景。

本文将基于蓝光激光二极管(LD)进行导光模块的设计及优化,实现激光点光源转化为面光源形式,并均匀导入到导光板内的目的。在此基础上,通过设计及优化导光板结构,设计出一款出光均匀度高、性能稳定的激光平板显示背光源。

2 实验原理

采用侧入射式的入光方式,基于光线重叠相交的方法,通过自行设计的反光杯调节光线的发散情况,使得从导光模块射出的光线进入导光板后相互交叠均匀分布,如图1所示。

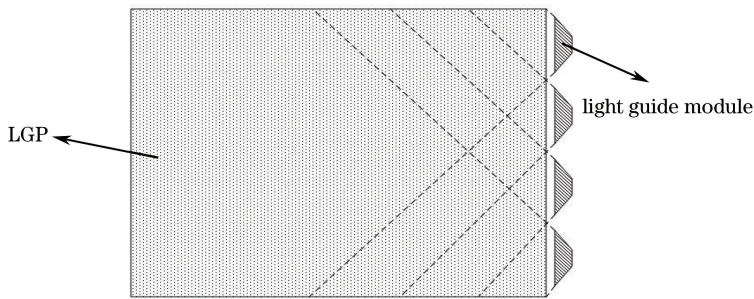


图1 背光模组原理图

Fig. 1 Principle diagram of backlight module

导光模块由光纤耦合模块以及反光杯构成,其中反光杯中设置有反射镜以及荧光片,如图2所示。光纤耦合模块出射的蓝光经过反光杯中的反射镜反射后垂直照射在荧光片上,激发产生的白光经反光杯调节光线发散角度后以一定角度导入导光板,实现了激光点光源转换为面光源,并均匀导入导光板的目的。在此基础上,利用导光板网点对光线的散射作用,优化导光板网点大小及分布使得进入导光板的光线均匀出射,达到背光模组出光均匀的目的。其中图1中所示的虚线为各反光杯中出射光线的边沿光线,表示光线分布范围。

3 理论模拟

根据第2节所述的结构,构建3D模型并导入光学模拟软件中进行导光模块以及导光板的模拟分析。

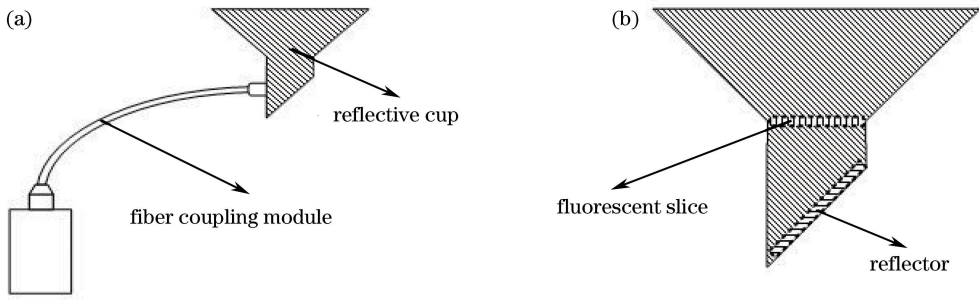


图 2 导光模块。(a)导光模块结构;(b)反光杯结构

Fig. 2 Light guide module. (a) Structure of light guide module; (b) structure of reflective cup

3.1 导光模块模拟分析

利用 Zemax 软件分析导光模块,将导光模块模型导入到光学软件中进行光线追迹,采用 Osram 公司提供的标准蓝光 LD 光源文件设定模拟过程中的光源参数,规定模拟过程中,导光板长边的方向为纵向,短边的方向为横向。采用 4 组光源进行侧入射式进光,并在导光板纵向方向上,以反光杯出光面为基准,每隔 100 mm 设定一个探测器,各探测器均与导光板上表面垂直,作为横向探测器组,位于图 3 中虚线所标位置。反光杯采用 120°的调节角度进行光线散射角度限定,各反光杯出光面与导光板入光面紧靠,并在每个反光杯出光口中心处设置一个探测器,各探测器均与导光板上表面垂直,作为纵向探测器组,位于图 3 中实线所标位置。此外,在紧贴导光板入光面处设置一个平行于入光面的探测器,用于观察 4 个反光杯的整体出光情况。

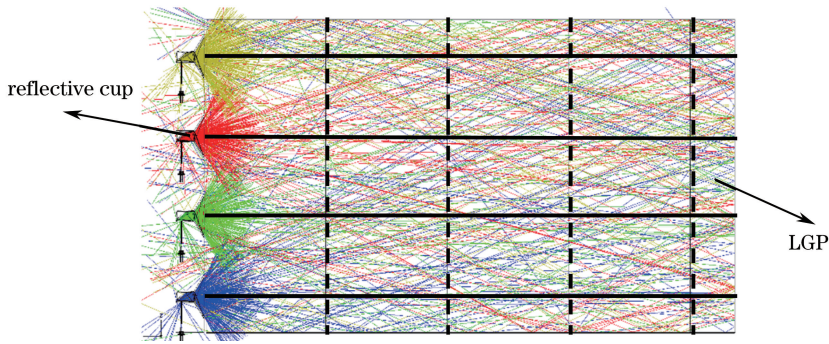


图 3 导光模块设计整体效果图

Fig. 3 Overall effect chart of light guide module design

经过光线追迹可以在各个探测器得到整个导光模块的导光情况。导光板入光面处的探测器测得的结果如图 4 所示,可见各个反光杯的出光情况基本一致,可以满足同步入光的要求。横向探测器组中各个探测器测得的结果如图 5(a)所示,可见横向探测器组中的 2、3、4 号探测器测得的光斑基本可以达到均匀分布,1 号探测器测得的光斑虽然分布不均匀,但是总体呈现规则分布,可以很容易地通过后端的网点调节来改善出光效果。纵向探测器组中各个探测器测得的结果如图 5(b)所示,可见纵向探测器组中的 1、2、3、4 号探测器测得的光斑基本一致。各探测器所测得的功率值分别为 1.5062,1.5094,1.5174,1.5154 W。采用数据标准差 S 进行数据偏差评估:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} = 0.0052 < 0.01, \quad (1)$$

可见标准差 S 很小,这种偏差可以接受,可视为传播过程中纵向各部分光分布相同。



图 4 导光板入光面处探测器光斑图

Fig. 4 Light spot diagram of detector at incidence plane of LGP

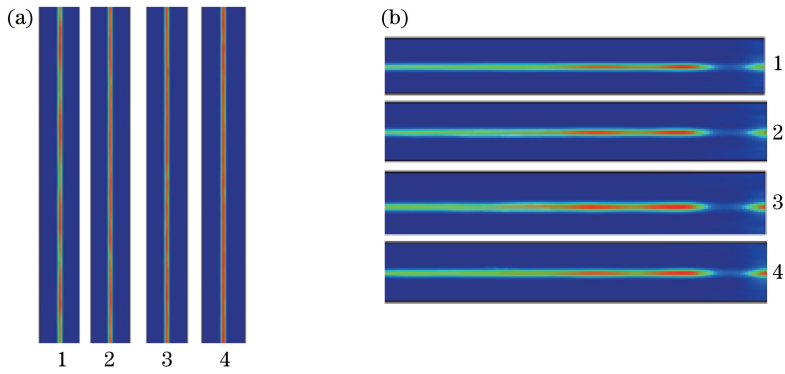


图 5 横向、纵向探测器组光斑图。(a)横向探测器组;(b)纵向探测器组

Fig. 5 Spot diagrams of horizontal and vertical detector groups. (a) Horizontal detector group; (b) vertical detector group

通过以上分析可知,这种导光模块完全可以实现横向各部分规则分布,纵向各部分一致分布的导光效果,同时可以满足各个反光杯出光情况完全一致,达到同步入光的要求,完全满足本背光源设计对导光模块的需要。

3.2 导光板模拟分析

导光模块导出的光是通过光纤耦合模块激发反光杯中的荧光片产生的,这个过程将光纤耦合模块中发出的点光源转化成了面光源,因此在导光板设计过程中将导光模块模型化为图 6(a)所示的理想化模型,其中黄色区域为表面光源设定区域。将设计好的导光模块导入 TracePro 软件,与构建好的 435 mm×275 mm×2 mm 的导光板进行组合,整体结构如图 6(b)所示。采用球形网点进行导光板设计,控制各个网点的位置以及大小达到出光均匀的目的。

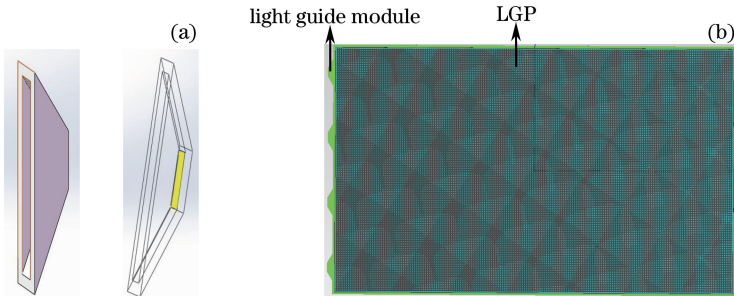


图 6 导光板设计整体效果图。(a)导光模块理想化模型;(b)导光模块与导光板组合结构

Fig. 6 Overall effect chart of LGP design. (a) Idealized model of light guide module; (b) composite structure of light guide module and LGP

在导光板网点设计过程中,常用的方法主要有:超均匀分布理论、斥力缓和法、动态分子法、区域分割法等^[10-13]。设计将在区域分割法的基础上,综合利用其他方法的优点,结合导光模块的导光效果逐步调节网点大小及分布,最终达到均匀出光的目的。设计过程中根据经验选定合适的均匀网点形式设置导光板,并以导光模块导入均匀网点导光板后的光分布效果为起点进行后续的网点调节。

对初步设计的均匀网点导光板进行模拟,可得到如图 7(a)所示的光分布效果图,可见均匀网点不可能达到背光模组出光均匀的效果。从光分布效果图上可以看出,整个发光区域总体上可以分为 3 个区域,其中区域 1 主要是由邻近入射光源造成的,该区域反光杯出射的光线还没有充分交叠,称为光源入射区域;区域 2 的分布大致已经均匀,该区域反光杯出射的光线已经充分交叠,称为均匀交叠区域;区域 3 主要是由于在该区域光线已经变弱,且被导光板三个侧面的反射膜大量反射,称该区域为光线反射区域。根据 3 个区域的特点及导光板整体光分布效果将导光板分成 6 个部分,如图 7(b)所示。根据 6 个部分的发光强度特点,采取减小光源入射区域网点大小,调节均匀交叠区域网点大小,并逐步增大光线反射区域网点大小的方法,综合调节各个部分的网点大小以及分布,完成导光板的粗略调节,从整体上实现导光板光分布均匀的效果。

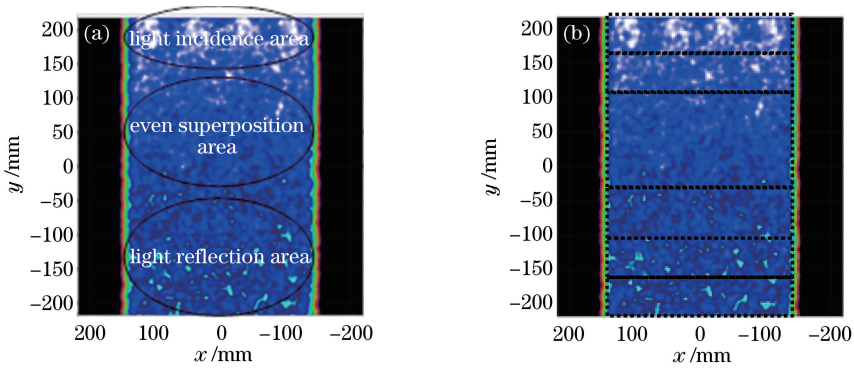


图 7 均匀网点出光效果。(a)光分布分区;(b)区域分割

Fig. 7 Output light effect of uniform network. (a) Partition of light distribution; (b) regional segmentation

经过以上对导光板网点大小以及分布的粗略调节,得到如图 8(a)所示的效果图,可见光源入射区域网点密度过小,均匀交叠区域与光线反射区域大体上分布均匀。根据 3 个区域的特点及导光板整体光分布效果,将导光板分成 4 个部分,如图 8(b)所示。

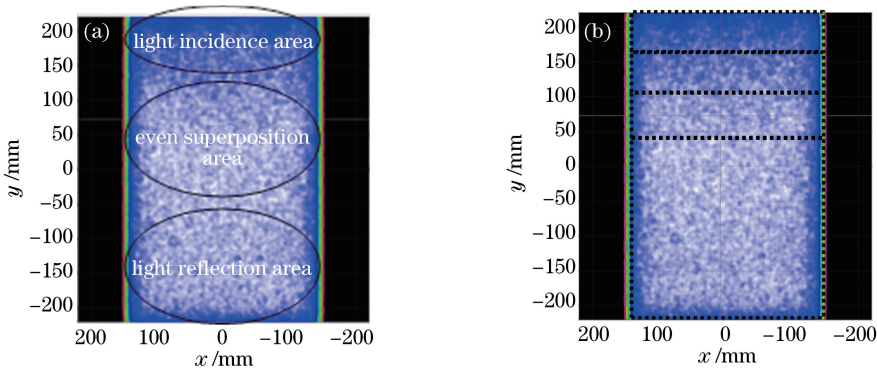


图 8 粗调后出光效果。(a)粗调后光分布分区;(b)粗调后的区域分割

Fig. 8 Output light effect after rough adjustment. (a) Partition of light distribution after rough adjustment;

(b) regional segmentation after rough adjustment

结合各部分发光强度的特点,通过适当增大光源入射区域网点大小的方法,进行精细调节,得到如图 9 所示效果图。肉眼可视其均匀效果较好,采用 9 点测量法进行导光板表面照度测量,图 10 为 9 点测量法取样位置^[14]。 $L_i (i=0\sim 8)$ 代表各取样点测得的表面照度值。

为了减小测量误差,对各测量点进行 3 次测量,测量结果如表 1 所示。照度均匀度可以表示为

$$P = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \times 100\%, \quad (2)$$

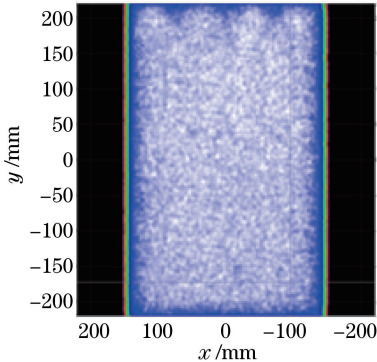


图 9 细调后的出光效果

Fig. 9 Output light effect after fine adjustment

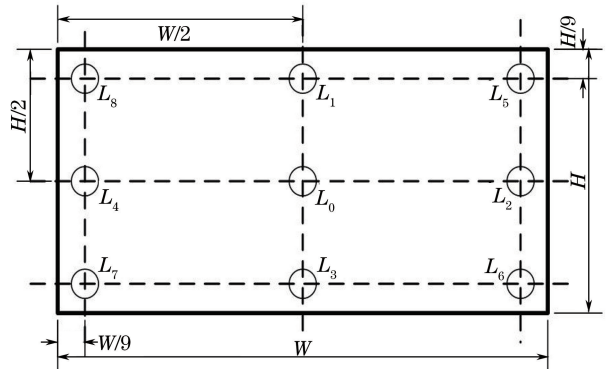


图 10 9 点测量法取样位置

Fig. 10 Sampling locations of nine point test method

式中 P 表示照度均匀度, L_{\max} 、 L_{\min} 分别表示最大、最小表面照度值^[14]。边角平均值可以表示为

$$\bar{L} = \frac{L_5 + L_6 + L_7 + L_8}{4L_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中 \bar{L} 表示边角平均值。

表 1 理论模拟结果

Table 1 Result of theoretical simulation

Test project	Surface illumination /lx								
	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
No. 1	6194	6259	6248	6312	6743	6099	6035	6635	6613
No. 2	6155	6287	6199	6352	6795	6154	6078	6674	6652
No. 3	6214	6233	6273	6295	6812	6133	6002	6618	6597
Average value	6188	6260	6240	6320	6783	6129	6038	6642	6621

计算 3 次测量得到数据的平均值,并通过(2)~(3)式分别对所得平均值进行照度均匀度以及边角平均值的计算,得到照度均匀度为 89.02%,边角平均值为 102.74%。

4 样品制作及测试结果

通过理论模拟得到一款出光效果较好的背光模组设计,将导光板网点数据导出,交由加工商采用激光打点的方式进行加工,同时,将反光杯模型制成工程图进行机械加工。导光模块中的光纤耦合模块是通过 Osram 公司型号为 PL TB450B,功率为 1.6 W,封装形式为 TO-56 的蓝光激光管进行光纤耦合得到的。将加工好的各部件组装完成后的样品如图 11 所示。

实验过程中,采用台湾固维的 GPS 3303C 直流输出电源为光纤耦合模块提供 24 W 的功率输入,经过适当调节,最终的出光效果如图 12 所示。



图 11 背光模组样品

Fig. 11 Sample of backlight module

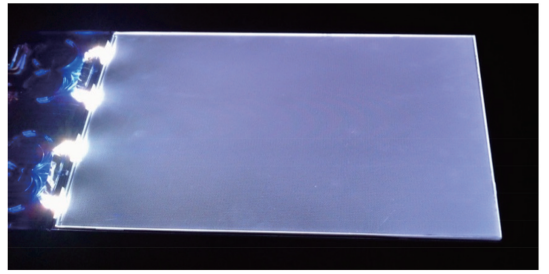


图 12 背光模组样品出光效果

Fig. 12 Output light effect of backlight module samples

采用台湾尚泽光电的 SRI-2000LM LED 照度流明光谱色彩计,利用 9 点测量法进行照度测量,采样位置如图 10 所示。为了减小测量误差,对各采样点进行 3 次测量,测量结果如表 2 所示。计算 3 次测量所得数据的平均值,并通过(2)~(3)式分别对所得平均值进行照度均匀度以及边角平均值计算,得到照度均匀度为 79.61%,边角平均值为 100.10%。

表 2 测试结果

Table 2 Result of measurement

Test project	Surface illumination /lx								
	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
No. 1	89.27	77.84	85.23	88.31	98.24	81.36	88.21	93.68	93.96
No. 2	88.98	78.75	85.68	88.52	98.54	82.33	88.10	93.95	93.55
No. 3	89.83	78.06	84.98	88.71	97.98	81.85	88.73	94.07	94.07
Average value	89.36	78.22	85.30	88.51	98.25	81.85	88.35	93.90	93.86

5 结 论

提出了一款基于蓝光 LD 的平板显示背光模组的设计方法,并分别从理论和实验上对该方法进行了设计及优化。提出了利用导光模块进行光线发散情况调节,实现激光点光源转换成面光源并均匀导入到导光板的方法。通过理论模拟,设计出了一款传播过程中横向各部分光分布规则,纵向各部分光分布一致的导光模块。在导光模块的基础上,采用区域分割法并综合利用其他方法的优点,设计出了一款出光均匀的导光板网点。理论模拟得到,整个模组的照度均匀度可以达到 89.02%,边角平均值可以达到 102.74%。将设计好的背光模组进行组装测试,可得到该模组的照度均匀度为 79.61%,边角平均值为 100.10%,可以为液晶显示提供均匀的背光照明。

参 考 文 献

- [1] Hrbek G, Lekavich J, Watson W. An improved laser color TV system using acousto-optic interaction[C]. Proc SID, 1971, 29(2): 77-85.
- [2] Lowry J B, Welford W T, Humphries M R. Pulsed scophny laser projection system[J]. Optics and Laser Technology, 1988, 20(5): 255-258.
- [3] Ketabchi M, Bering M. Polygonal scanner subsystem for laser display[C]. SPIE, 1997, 3131: 20-29.
- [4] Nebel A, Ruffing B, Wallenstein R. Diode pumping sharpens large laser displays[J]. Laser Focus World, 1999, 35(5): 263-266.
- [5] Kennedy K W, Martinsen R J, Radl A J, *et al.* Laser-based SXGA reflective light valve projector with E-cinema quality contrast and color space[C]. SPIE, 2000, 3954: 168-174.
- [6] Chen Jiren, Chen Jiasong, Niu Jihai. Laser TV technology and development[J]. Cable Television Technology, 2003, 10(19): 71-73.
陈济仁, 陈家松, 牛纪海. 激光电视技术与发展[J]. 有线电视技术, 2003, 10(19): 71-73.
- [7] Sun Yubao. The design and experimental research on laser backlight used for LCD flat-panel display[D]. Shandong: Shandong University, 2013.
孙玉宝. 液晶平板显示激光背光模组的设计与研究[D]. 山东: 山东大学, 2013.
- [8] Yuuto O, Kousuke O, Ichiro F. Laser backlight unit based on a leaky optical fiber[J]. Optical Engineering, 2012, 51(7): 074001.
- [9] Ichiro F, Kazuma A, Kazuki N, *et al.* Backlight units based on light extraction from a curved optical fiber[J]. Optical Engineering, 2014, 53(6): 065104.
- [10] Zhang Wei. Research and design of the light guide plate for edge LED backlight [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
张 威. 侧光式 LED 背光系统的导光板研究与设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [11] Ide T, Mizuta H, Taira Y, *et al.* Dot pattern generation technique using molecular dynamics[J]. J Opt Soc Am A, 2000, 20(2): 248-255.
- [12] Chang J G, Su M H, Lee C T, *et al.* Generating random and non-overlapping dot pattern for liquid-crystal display backlight light guides using molecular-dynamics method[J]. J Appl Phys, 2005, 98(11): 114910.
- [13] Zang Jinhao, Hou Yao, Wu Chaoxin. Design and optimization of LED backlight module with single-vertex angle structure[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(6): 954-956.
臧金浩, 侯 瑶, 吴朝新. 单顶角结构 LED 背光模组的设计与优化[J]. 应用光学, 2008, 29(6): 954-956.
- [14] 中华人民共和国信息产业部. SJ/T 11348-2006 数字电视平板显示器测量方法[S]. 北京: 中国电子技术标准化研究所, 2006.